



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 37 697 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 N 21/88
G 06 T 5/50
H 01 L 21/66

② Aktenzeichen: 100 37 697.5
⑦ Anmeldetag: 2. 8. 2000
④ Offenlegungstag: 15. 3. 2001

③ Unionspriorität:
365583 02. 08. 1999 US
⑧ Anmelder:
Schlumberger Technologies Inc., San Jose, Calif.,
US
⑦ Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,
80538 München

⑦ Erfinder:
Aghajan, Hamid K., Palo Alto, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- ⑤ Adaptive Maskentechnik zur Inspektion von Defekten
⑦ Ein zweidimensionales Streudiagramm wird durch Auftragen der Graustufen von Pixeln von einem Testbild gegenüber den Graustufen von entsprechenden Pixeln von einem Referenzbild erzeugt. Ein Rauschunterdrückungsfilter wird auf das Streudiagramm angewendet, um eine Maskenform zu definieren, die herausgelöst und aufgefüllt werden kann, um eine Maske zu bilden. Defektpixel im Testbild werden identifiziert, indem entsprechende Pixelgrauwerte mit der Maske verglichen werden. Eine typische Anwendung ist das Erfassen von Defekten in einem Halbleiterwafer während des Bauteilherstellungsprozesses.

DE 100 37 697 A 1

DE 100 37 697 A 1

Diese Erfindung betrifft im Allgemeinen die digitale Bildverarbeitung und betrifft insbesondere Systeme und Verfahren zum Erfassen von Defekten in einem Halbleiterelement unter Verwendung von Bildvergleichstechniken.

Beschreibung des Stands der Technik

Bildvergleichstechniken werden verwendet, um Defekte in Halbleiterwafern zu erfassen. Typischerweise wird ein Testbild erfasst und anschließend mit einem Referenzbild verglichen. Sodann wird ein Defektmerkennungsalgorithmus verwendet, um Abweichungen bzw. Variationen zwischen den Bildern zu erfassen und um zu bestimmen, ob derartige Abweichungen echte Defekte sind. In dem sogenannten Zufallslogikinspektionsmodus wird ein Bild einer ersten Chipfläche erfasst und anschließend mit dem Bild einer zweiten Chipfläche auf dem gleichen Wafer verglichen. Der Array-Inspektionsmodus wird in ähnlicher Weise ausgeführt, mit Ausnahme, dass ein Querschnitt einer Chipfläche mit einem weiteren Querschnitt in der Chipfläche mit einer identischen Struktur verglichen wird. Der Array-Inspektionsmodus wird beispielsweise beim Testen von Elementen mit sich wiederholenden Strukturen, wie z. B. Speicherzellen, verwendet. Statt durch Vergleichen von Bildern eines Wafers, der gerade getestet wird, können Defekte ebenso erfasst werden, indem ein erfasstes Testbild mit einem bekannten Bild aus einer Datenbank verglichen wird.

Fig. 1 stellt ein Defektverfahren gemäß dem Stand der Technik dar. Es werden ein Testbild und ein Referenzbild der zu untersuchenden Waferstruktur aus verschiedenen Bereichen des Wafers unter Verwendung beispielsweise herkömmlicher Elektronenstrahlabbildungsverfahren erfasst (Schritt 110). Jedes Bild umfasst mehrere Pixel, wobei jedes Pixel durch seine Position innerhalb des Bildes und durch seinen Intensitäts- oder Grauwert bzw. Graustufe definiert ist. Die Verwendung von Graustufen in der Bildverarbeitung ist im Stand der Technik bekannt und wird in R. C. Gonzales und R. E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley (1992), beispielsweise auf den Seiten 6 bis 7, beschrieben. Die beiden Bilder werden dann pixelweise ausgerichtet bzw. justiert, so dass jedes Strukturmerkmal im Testbild mit dem entsprechenden Strukturmerkmal im Referenzbild (Schritt 120) übereinstimmt. Anschließend wird ein Differenzbild erzeugt, indem die Graustufen der beiden Bilder subtrahiert werden (Schritt 130). Da sich übereinstimmende Pixel mit identischen Graustufen gegeneinander aufheben, stellt das Differenzbild Pixelgraustufenvariationen zwischen dem Referenzbild und dem Testbild dar. Die Graustufe bzw. der Grauwert jedes Pixels im Differenzbild wird skaliert, normiert und anschließend in einem eindimensionalen Histogramm, etwa einem Histogramm 200, das in Fig. 2 gezeigt ist, aufgetragen (Schritt 140). Das Histogramm 200 stellt die Anzahl von Pixeln im Differenzbild dar, die einen speziellen Grauwert bzw. eine spezielle Graustufe aufweisen. Beispielsweise zeigt Histogramm 200 an, dass es 20000 Pixel im Differenzbild mit einem Grauwert von 50 gibt.

Ein Pixel aus dem Testbild kann zu einem entsprechenden Pixel im Referenzbild selbst dann unterschiedlich sein, wenn es keine Defekte in den beiden Bildern gibt. Intensitätsschwankungen können beispielsweise durch Unterschiede im physikalischen Aufbau der Schichten, Rauschen in der Bilderfassungselektronik und in den Signalwegen, und einem schwankenden Rauschmodulationspegel innerhalb eines einzelnen Bildes über unterschiedliche Graustufen bewirkt werden. Somit deuten Pixel im Differenzbild nicht notwendigerweise an, dass ein Defekt vorhanden ist. Um echte Defekte von falschen oder "Ärgernis"-Defekten zu unterscheiden, wird jedes Pixel im Differenzbild mit einem Schwellwertfenster verglichen (Fig. 1, Schritt 150). Pixel mit einer Graustufe außerhalb des Schwellwertfensters werden als Defekte erklärt. Wenn beispielsweise das Schwellwertfenster bei ± 50 liegt und ein Pixel im Differenzbild einen Grauwert von 60 besitzt, (d. h. die Grauwerte des Test- und Referenzbildes unterscheiden sich um 60 Einheiten), wird dies als ein Defekt ereignis bezeichnet (Fig. 1, Schritt 160). Das Defektereignis wird dann von einem Bediener verifiziert, um sicherzustellen, dass die Chipfläche tatsächlich fehlerhaft ist, bevor die Chipfläche in der nachfolgenden Verarbeitung verworfen wird.

Das Auffinden des optimalen Schwellwertes für ein gegebenes Testbild ist eine wichtige aber ungenaue Aufgabe. Der Schwellwert muss so gewählt werden, dass echte Defekte erfasst werden, während Ärgernisdefekte davon unterschieden werden. Je enger der Schwellwertbereich ist, desto mehr Ärgernisdefekte werden gekennzeichnet. Ärgernisdefekte beeinflussen den Produktionsdurchsatz negativ, da jedes Defektereignis geprüft und verifiziert werden muss. Andererseits verringert ein Aufweiten des Schwellwertfensters Ärgernisdefektereignisse auf Kosten von nicht erfassten echten Defekten.

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, dass ein Defektverfahren höchst wünschenswert ist, das reale Defekte erfassen kann, während das Berichten über Ärgernisdefekte minimiert wird.

Überblick

Es wird ein neues Verfahren und eine damit verknüpfte Vorrichtung zum Erfassen von Defekten offenbart. In der erfindungsgemäßen Ausführungsform werden ein erstes Bild und ein zweites Bild bereitgestellt und ausgerichtet bzw. justiert. Ein erstes zweidimensionales Streudiagramm wird erzeugt, indem die Grauwerte der Pixel des ersten Bildes gegenüber den Grauwerten der entsprechenden Pixel des zweiten Bildes aufgetragen werden. Sodann wird ein zweites zweidimensionales Streudiagramm erzeugt, indem die Datenpunkte des ersten Streudiagramms gefiltert werden. Das zweite Streudiagramm liefert eine Maskenform, die herausgelöst und aufgefüllt werden kann, um eine Maske zu erzeugen. Defekte werden identifiziert, indem die Grauwerte der entsprechenden Pixel aus den ersten und zweiten Bildern mit der Maske verglichen werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt ein Defektverfahren gemäß dem Stand der Technik.
Fig. 2 zeigt ein eindimensionales Histogrammdiagramm von Grauwerten.

Fig. 3 zeigt die Schritte einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 4A-4C zeigen einen Justierschritt gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 5 zeigt ein zweidimensionales Streudiagramm gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 6-7 zeigen jeweils ein Testbild und ein Referenzbild, das von einem Bauelementwafer abgenommen wurde.

Fig. 8 zeigt ein zweidimensionales Streudiagramm gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 9A-9B zeigen das Ergebnis der Anwendung eines morphologischen Filters auf das in Fig. 8 gezeigte zweidimensionale Streudiagramm.

Fig. 10A-10C zeigen eindimensionale Abstandsprofile gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 11 zeigt eine Maske gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 12 zeigt eine einem ungefilterten zweidimensionalen Streudiagramm überlagerte Maske.

Fig. 13 zeigt eine Defektkarte eines Wafers, die unter Verwendung einer adaptiven Maske erhalten wurde.

Fig. 14 zeigt einen vorbestimmten Schwellenwert, der einem ungefilterten zweidimensionalen Streudiagramm überlagert ist.

Fig. 15 zeigt eine Defektkarte eines Wafers, die unter Verwendung eines vorbestimmten Schwellenwerts erhalten wurde.

Detaillierte Beschreibung

Die vorliegende Erfindung überwindet die Einschränkungen von Defekterfassungsverfahren gemäß dem Stand der Technik, indem ein angepasstes schwellwertbildendes Schema auf ein Paar von Bildern, die analysiert werden, angewendet wird. Im Gegensatz zu Verfahren gemäß dem Stand der Technik, die einen vorbestimmten Schwellwert für alle Bildpaare verwenden, verwendet dieses Verfahren eine Schwellwertmaske, die für jedes Paar an Bildern angepasst wird. Die Erfindung kann in einer Vielzahl von Abbildungsmöglichkeiten einschließlich in Elektronenstrahl, Heißfeld, Dunkelfeld, Laser und Atombindungsmikroskopie ("AFM")-Inspektionssystemen verwendet werden.

Fig. 3 zeigt die Schritte einer erfindungsgemäßen Ausführungsform. Im Schritt 310 werden ein Testbild und ein Referenzbild beispielsweise von Halbleiterstrukturen unter Verwendung herkömmlicher Bilderfassungstechniken erfasst. Die Bilder können ebenfalls unter Anwendung des Schritt- und Bilderfassungssystems erfasst werden, das im US-Patent mit der Seriennummer 09/226.967 offenbart ist.

Im Schritt 320 werden das Testbild und das Referenzbild so ausgerichtet, um an entsprechenden Pixeln in den beiden Bildern übereinzustimmen. Es kann eine Vielzahl von Justiertechniken in Verbindung mit der vorliegenden Erfindung verwendet werden, einschließlich dem Verfahren, dass in der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/227.747 offenbart ist. Der Justierschritt ist erforderlich, um sicherzustellen, dass jedes Strukturmerkmal im Testbild mit einem äquivalenten Strukturmerkmal im Referenzbild verglichen wird.

Der Schritt 320 ist ferner in den Fig. 4A-4C dargestellt. Fig. 4A zeigt ein Testbild 410 mit Pixeln 411-416. Jedes Pixel ist durch seinen Grauwert und seine Position in dem Bild definiert. Beispielsweise liegt Pixel 413 an der Position $i = 10$ und $j = 30$ (d. h. (10, 30)). Aus Darstellungsgründen hat der Grauwert des Pixels 413 den Wert 50. Tabelle 1 liefert die Koordinatenpositionen und Grauwerte für jedes Pixel des Testbilds 410, während Tabelle 2 die gleiche Information für die Pixel 421-426 des Referenzbildes 420 (Fig. 48) liefert.

Tabelle 1

Pixel	Position (i, j)	Grauwert
411	(10,10)	100
412	(10,20)	150
413	(10,30)	50
414	(20,30)	180
415	(20,20)	200
416	(20,10)	250

Tabelle 2

Pixel	Position (i, j)	Grauwert
421	(10,10)	100
422	(10,20)	150
423	(10,30)	50
424	(20,30)	150
425	(20,20)	100
426	(20,10)	0

Fig. 4C stellt grafisch die Ausrichtung des Testbildes 410 zum Referenzbild 420 dar. Die ausgerichtete Pixelposition 431 umfasst die Pixel 411 und 421, die ausgerichtete Pixelposition 432 umfasst die Pixel 412 und 422, usw.

Wenn das Referenzbild und das Testbild ausgerichtet sind, ist die Pixel-Zuordnung zwischen dem Testbild und dem Referenzbild bekannt. Ein zweidimensionales ("2D") Streuungsdiagramm wird erzeugt, indem der Grauwert eines Pixels aus dem Testbild gegen den Grauwert des entsprechenden Pixels im Referenzbild für jede ausgerichtete Pixelposition aufgetragen wird (Fig. 3, Schritt 330). Unter Verwendung der Fig. 4C als ein Beispiels wird der Grauwert des Pixels 411 gegen den Grauwert des Pixels 421, der Grauwert des Pixels 412 gegen den Grauwert des Pixels 422 usw. aufgetragen. Anwenden des Schritts 330 für die Positionen 431-436 ergibt die in Tabelle 3 gezeigten Daten. Das resultierende zweidimensionale Streuungsdiagramm 500 ist in Fig. 5 gezeigt.

Tabelle 3

Ausgerichtete Pixelposition	Grauwert des Testbildes	Grauwert des Referenzbildes	Koordinaten (t_{gray} , r_{gray})
431	100	100	(100,100)
432	150	150	(150,150)
433	50	50	(50,50)
434	180	150	(180,150)
435	200	100	(200,100)
436	250	0	(250,0)

Tabelle 3 zeigt, dass die ausgerichteten Pixelpositionen 434, 435 und 436 variierende bzw. unterschiedliche Grauwerte aufweisen und damit die Anwesenheit möglicher Defekte anzeigen. Die Positionen 431, 432 und 433 sind defektfrei, da das Testbild und das Referenzbild in diesen Position die gleichen Grauwerte aufweisen. Das Streuungsdiagramm 500 (Fig. 5) liefert Informationen bezüglich der Anwesenheit möglicher Defekte. Alle ausgerichteten Pixelpositionen mit den gleichen Grauwerten können im Streuungsdiagramm 500 durch eine imaginäre Linie 501 repräsentiert werden. Die Steigung der imaginären Linie 501 beträgt +1, da sie die ausgerichteten Pixelpositionen repräsentiert, an denen der Grauwert des Testbildpixels gleich dem Grauwert des entsprechenden Pixels im Referenzbild ist. Alle ausgerichteten Pixelpositionen mit variierenden Grauwerten werden von der imaginären Linie 501 entfernt liegen. Je weiter eine Position von der Linie 501 entfernt gezeichnet ist, umso größer ist die Abweichung im Grauwert und umso größer die Wahrscheinlichkeit, dass in dieser Position ein Defekt existiert. Im Streuungsdiagramm 500 sind die Positionen 434, 435 und 436 nicht auf der imaginären Linie 501 und zeigen die Anwesenheit möglicher Defekte an. In dieser Offenbarung wird die Abkürzung (t_{gray} , r_{gray}) verwendet, um die Koordinaten eines Datenpunktes eines 2D-Streuungsdiagramms zu kennzeichnen, um diesen von einer Bildpixelposition zu unterscheiden, die durch die Abkürzung (i, j) gekennzeichnet wird. Beispielsweise ist die ausgerichtete Pixelposition 435 als ein Datenpunkt im 2D-Streuungsdiagramm in der Position (200, 100) definiert.

Ein Pseudo-Code zum Implementieren eines zweidimensionalen Streuungsdiagramms in einer Computersoftware ist unten gezeigt. In dem Pseudo-Code werden die Graustufenwerte in eine Speicherarrayvariable ("Scatter") geschrieben.

/*Pseudo-Code zum Erzeugen eines 2D-Streuungsdiagramms*/

Erfassen eines Referenzbildes;

Erfassen eines Testbildes;

Ausrichten des Testbildes zum Referenzbild;

Erzeugen eines 256x256 Bildes mit der Bezeichnung Scatter;

Initialisierung von Scatter mit 0;

Do for i = 1 to NumRows

{

Do for j = 1 to NumCols

{

p1 = Reference (i,j);

p2 = Test (i,j);

Scatter (p2,p1) = 1;

}

}

Zeichne Scatter als ein Bild;

/* Ende des Pseudo-Codes*/

2D-Streuungsdiagramme sind ebenfalls offenbart in der US-Patentanmeldung mit der Nr. 09/365.517.

Die Fig. 6-8 fassen bildlich die Schritte 310, 320 und 330 der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform zusammen. Fig. 6 zeigt ein Testbild 600, das in herkömmlicher Weise von einem Wafer mit einem Defekt 601 erfasst wird. Es wird ein Referenzbild 700 (Fig. 7) erfasst und anschließend zu dem Testbild 600 ausgerichtet (nicht gezeigt). Ein 2D-Streuungsdiagramm 800 (Fig. 8) wird erzeugt, indem die Grauwerte der Pixel des Testbildes gegen die Grauwerte der entsprechenden Pixel aus dem Referenzbild aufgetragen werden. Das Streuungsdiagramm kann per Hand oder unter Anwendung eines programmierten Computers erzeugt werden. Die Datenpunkte des Streuungsdiagramms 800 werden als weiße Punkte auf schwarzem Hintergrund gezeichnet. Eine Linie 801 definiert die ausgerichteten Pixelpositionen, wobei die Grauwerte der Testbildpixel und die der Referenzbildpixel identisch sind. Wenn beispielsweise das Testbild 600 zum Referenzbild 700 identisch war, würden alle Datenpunkte des Streuungsdiagramms 800 auf der Linie 801 liegen.

Das Streuungsdiagramm 800 enthält Graustufeninformationen für alle Pixel im Testbild und im Referenzbild einschließlich von Pixeln des Defekts 601. Wie zuvor erläutert wurde, wird eine größere Wahrscheinlichkeit, dass der Datenpunkt die Anwesenheit eines Defekts anzeigt, durch eine größere Entfernung des Datenpunkts von der Linie 801 gekennzeichnet. Dieses erfindungsgemäße Verfahren nützt diese Information aus und bildet eine "Maske", die dem Streuungsdiagramm 800 "überlagert" werden kann, um Defektpixel von "guten" Pixeln zu unterscheiden. Datenpunkte außerhalb der Maske werden als Defektereignisse deklariert.

Um das Profil oder die Grenzen der Maske zu finden, wird auf die Datenpunkte des Streuungsdiagramms 800 ein Rauschunterdrückungsfilter angewendet (Fig. 3, Schritt 340). Es kann eine Reihe herkömmlicher Rauschunterdrückungsfilter mit der vorliegenden Erfindung einschließlich zum Beispiel von morphologischen Filtern verwendet werden. Morphologische Filter sind im Stand der Technik bekannt und sind beschrieben in B. Jahne, "Digital Image Processing Concepts, Algorithms, and Scientific Applications," Springer Verlag (1991), Kapitel 11, und in R. C. Gonzales und R. E. Woods, "Digital Image Processing," Addison-Wesley (1992), Kapitel 8 beschrieben. Ein morphologisches Filtern wird die Datenpunkte des Streuungsdiagramms 800 "verdichten" und "bereinigen", um eine Maskenform zu definieren. Das in Fig. 9A gezeigte 2D-Streuungsdiagramm 950 ist das Ergebnis des Anwendens eines morphologischen Filters auf das Streuungsdiagramm 800. Das Streuungsdiagramm 950 enthält die Maskenform 900.

Das Herauslösen von Grenzen ist der Vorgang des Erhaltens der Koordinaten des Grenzdatenpunktes einer Maskenform (Fig. 3, Schritt 350). Ein Algorithmus zum Herauslösen der Grenze einer Maskenform 900 ist wie folgt:

Algorithmus zum Herauslösen einer Maskenform

(a1) Wie in Fig. 9B gezeigt ist, Erzeugen einer Linie 901, die sich von der oberen linken Ecke zur unteren rechten Ecke des Streuungsdiagramms 950 erstreckt.

(a2) Erzeugen zweier Zahlenanordnungen zur Verfolgung senkrechter Abstände von der Linie 901 zu einem

- Grenzdatenpunkt. Eines der Arrays wird als UPPER bezeichnet. UPPER wird verwendet, um senkrechte Abstände von Grenzpunkten über der Linie 901 zu verfolgen (d. h. ein Gebiet, das durch den Pfeil 902 bezeichnet ist). Das andere Array, LOWER, wird verwendet, um senkrechte Abstände von Grenzpunkten unterhalb der Linie 901 zu verfolgen (das Gebiet, das durch Pfeil 903 bezeichnet ist). Ein Beispiel eines senkrechten Abstandes ist die Länge der senkrechten Linie 904, die sich von der Linie 901 zu einem Grenzpunkt 905 erstreckt. Ein weiteres Beispiel ist die Länge der Linie 906, die eine senkrechte Linie darstellt, die sich von der Linie 901 zum Grenzpunkt 907 erstreckt.
- (a3) Initialisieren aller Elemente des Arrays UPPER und LOWER mit logisch 0.
- (a4) Für jede Koordinatenposition (t_{gray} , r_{gray}) in dem Streuungsdiagramm 950 überprüfen, ob die Koordinate einen Datenpunkt besitzt. Wenn ja, mit Schritten (a5) bis (a9) weitermachen; andernfalls zur nächsten Position im Streuungsdiagramm weitergehen. In den Fig. 8, 9A und 9B sind die Datenpunkte weiß auf schwarzem Hintergrund gezeichnet (d. h., ein Datenpunkt oder eine logische 1 wird als ein weißer Punkt gezeichnet, während eine logische 0 oder die Abwesenheit eines Datenpunkts als ein schwarzer Punkt gezeichnet wird). Somit enthalten die dunklen Bereiche der Fig. 9B keine Datenpunkte und werden ignoriert.
- (a5) Wenn die Streuungsdiagrammsposition einen Datenpunkt besitzt, Messen seines senkrechten Abstandes D_{perp} von der Linie 901. Ferner Berechnen der Position dieses Datenpunkts $R_{profile}$ entlang eines eindimensionalen ("1D") Distanzprofils. 1D-Distanzprofile werden im Folgenden beschrieben. $R_{profile}$ kann unter Verwendung von Gleichung 1 berechnet werden.
- $$R_{profile}(t_{gray} + r_{gray})/2 \quad (\text{Gleichung 1})$$
- (a6) Wenn die Koordinaten (t_{gray} , r_{gray}) über der Linie 901 liegen, wird D_{perp} ein positiver Wert zugeordnet. Im anderen Falle ist D_{perp} negativ.
- (a7) Wenn D_{perp} größer als der augenblicklich im Element $R_{profile}$ des Arrays UPPER gespeicherte senkrechte Abstand ist, Speichern von D_{perp} im Element $R_{profile}$ von UPPER.
- (a8) Wenn D_{perp} kleiner als der augenblicklich im Element $R_{profile}$ des Arrays LOWER gespeicherte senkrechte Abstand ist, Speichern von D_{perp} im Element $R_{profile}$ von LOWER.
- (a9) Fortsetzen für alle Datenpunkte.

Nach dem Ausführen des obigen Maskenformen-Herauslösungsalgorithmus, enthalten die Arrays UPPER und LOWER die senkrechten Abstände der Maskenformgrenzpunkte. Die senkrechten Abstände und ihre entsprechenden $R_{profile}$ können verwendet werden, um ein 1D-Distanzprofil 1000 zu erzeugen, das in Fig. 10A gezeigt ist. Eine Kurve 1010 ist der Graph, der in den Elementen $R_{profile}$ des Arrays UPPER gespeicherten senkrechten Abständen, während die Kurve 1020 ein ähnlicher Graph für das Array LOWER ist. Um die herausgelöste Maskenform besser zu verdeutlichen, kann das Distanzprofil 1000 unter Verwendung von beispielsweise eines Algorithmus für eine laufende Mittelwertbildung geglättet werden. Algorithmen für laufende Mittelwertbildung sind im Stand der Technik bekannt und sind beschrieben in A. V. Oppenheim und R. W. Schaffer, "Discrete-Time Signal Processing"; Prentice-Hall (1989), beschrieben. Das in Fig. 10B gezeigte Distanzprofil 2000 ist das Ergebnis der Anwendung eines Algorithmus für eine laufende Mittelwertbildung auf das Distanzprofil 1000. Die Kurven 1030 und 1040 sind jeweils die laufenden Mittelwerte der Kurven 1010 und 1020.

Optional kann ein Empfindlichkeitsspielraum bzw. -bereich für die herausgelöste Maskenform verwendet werden (Fig. 3, Schritt 360), um es einem Anwender zu ermöglichen, die Ausdehnung der Maske zu variieren. Der Anwendergewählte Empfindlichkeitswert kann verwendet werden, um die herausgelöste Maskenform zu skalieren oder zu verschieben. Kurve 1050 in Fig. 10C zeigt das Ergebnis des Addierens eines Empfindlichkeitswertes S_{value} zu jedem Punkt der Kurve 1030. Kurve 1060 ist das Ergebnis der Subtraktion von S_{value} von jedem Punkt der Kurve 1040.

Es wird eine Maskennachschlagtabelle erzeugt, indem alle Koordinatenpositionen innerhalb der Grenze der herausgelösten Maskenform aufgefüllt werden (Fig. 3, Schritt 370). Es wird ein Algorithmus zum Auffüllen der herausgelösten Maskenform unter Verwendung des Streuungsdiagramms 950, das in Fig. 9B gezeigt ist, veranschaulicht.

Algorithmus zum Auffüllen eines Maskenformgebietes

- (b1) Erzeugen eines zweidimensionalen Streuungsdiagramms Matter. Es werden alle Datenpunkte von $M_{scatter}$ auf logisch 1 gesetzt.
- (b2) Für jede Position (t_{gray} , r_{gray}) des Streuungsdiagramms 950, Berechnen von $R_{profile}$ unter Verwendung von Gleichung 1, und Erhalten des senkrechten Abstandes D_{perp} .
- (b3) Auftragen von $R_{profile}$ und D_{perp} im Distanzprofil 2000, das in Fig. 10B gezeigt ist (oder in dem Distanzprofil, das in Fig. 10C gezeigt ist, wenn ein Empfindlichkeitsspielraum verwendet wird). Wenn der Punkt ($R_{profile}$, D_{perp}) von den Kurven 1030 und 1040 umschlossen wird, Zurücksetzen der Position (t_{gray} , r_{gray}) von $M_{scatter}$ auf logisch 0. Im anderen Falle, zur nächsten Position (t_{gray} , r_{gray}) des Streuungsdiagramms 950 Weitergehen.
- (b4) Fortsetzen für alle Positionen.

Der obige Algorithmus hat ein in Fig. 11 gezeigtes $M_{scatter}$ 1100 zur Folge. $M_{scatter}$ 1100 enthält eine Maske 1110, die verwendet werden kann, um Defektpunkt in einem zweidimensionalen Streuungsdiagramm zu erfassen. Alle Punkte innerhalb der Maske 1110 befinden sich auf logisch "0". Fig. 12 zeigt die dem Streuungsdiagramm 800 überlagerte Maske 1110. Datenpunkte außerhalb der Maske werden als Defektereignisse deklariert.

Ein Algorithmus zur Verwendung der Maske 1110 zum Erfassen von Defekten ist wie folgt:

Algorithmus zur Defekterfassung und zur Verwendung einer Maske

- (c1) Für alle Pixel eines Testbildes und eines Referenzbildes, jeweils Auslesen der entsprechenden Grauwerte t_{gray} und r_{gray} .
- (c2) Wenn die Position (t_{gray}, r_{gray}) $M_{scatter}$ 1100 eine logische 0 ist, zeigt dies an, dass die Position innerhalb der Maske liegt und somit kein Defektereignis ist. Fortfahren mit dem nächsten Pixel des Testbildes und des Referenzbildes.
- (c3) Wenn die Position (t_{gray}, r_{gray}) von Mutter 1100 eine logische 1 ist, befindet sich die Position außerhalb der Maske und es gibt einen Defekt. Es wird über ein Defektereignis Bericht erstattet.
- (c4) Fortfahren für alle Pixelpaare des Testbildes und des Referenzbildes.

Der Anhang A liefert weitere Beispiele, wie die vorliegende Erfindung implementiert werden kann. Anhang A listet den Quellcode für eine C-programmierte Funktion gemäß der vorliegenden Erfindung auf. Der Code kann von einem Computer oder einem Prozessor, der vorzugsweise an ein Defektinspektionssystem oder einem Teil davon gekoppelt ist, ausgeführt werden. Selbstverständlich speichert ein derartiges System typischerweise diesen Quellcode und die resultierenden Diagramme, Masken, etc. in einem computerlesbaren Medium (Speicher). Tabelle 4 zeigt die Entsprechung zwischen den Schritten der Erfindung und dem im Anhang A aufgelisteten Quellcode.

Tabelle 4

C-Funktion	Seite im Anhang A	Schritt	Bemerkung
hist2D8	A/3	330	2D-Streuungsdiagramm
hist_2D8_open	A/3	340	morphologischer Filter
hist_2D8_1Dprofile	A/4	350	Auslösen eines 1D-Profiles und Anwenden des laufenden Durchschnitts
hist_2D8_fitbound	A/5	360, 370	Empfindlichkeitsspielraum und Auffüllen der Maske
hist_2D8_thresh	A/6	380	Auf Defekte hin überprüfen (Schwellwertbildung)

Die Fig. 13 bis 15 zeigen weiterhin die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Verwendung von $M_{scatter}$ 1100 zur Erfassung von Defekten im Streuungsdiagramm 800 unter Verwendung der Schritte (c1) (c4) ergibt eine Defektkarte 1300, die in Fig. 13 gezeigt ist. Anzumerken ist, dass die Defektkarte 1300 einen Defekt 601 des Testbildes 600 (Fig. 6) korrekt identifiziert.

Fig. 14 zeigt grafisch die Anwendung eines vorbestimmten, durch die Linien 1401 und 1402 definierten Schwellenwertes auf das Streuungsdiagramm 800. Die Verwendung vorbestimmter Schwellenwerte ist ebenfalls in der US-Patentanmeldung 09/365.517 offenbart. Punkte, die nicht von den Linien 1401 und 1402 umschlossen sind, werden als Defektereignisse deklariert. Fig. 15 zeigt eine Defektkarte, die aus der Anwendung des vorbestimmten Schwellenwertes auf das Streuungsdiagramm 800 hervorgeht. Zu bemerken ist, dass zahlreiche Ärgernisdefekte erfasst werden, ohne den Defekt 601 zu ermitteln.

Selbstverständlich ist die oben gegebene Beschreibung lediglich zum Zwecke der Darstellung und nicht zur Einschränkung beabsichtigt. Zahlreiche Variationen sind möglich, ohne vom Schutzbereich und Grundgedanken der Erfindung abzuweichen. Die Erfindung wird in den folgenden Patentansprüchen definiert.

FIGURENBESCHREIBUNG

Fig. 1

- 110 Erfassen von Referenzbild und Testbild
- 120 Ausrichten der Bilder
- 130 Differenzbild (Referenz - Test)
- 140 Skalieren, Normieren, Histogramm
- 150 Schwellwert
- 160 Berichten über Defektereignisse

Fig. 2

- 1 Grauwert
2 Anzahl der Pixel

Fig. 3

- 310 Erfassen eines Testbildes und eines Referenzbildes
320 Ausrichten des Testbildes und des Referenzbildes
10 330 Erzeugen eines 2D-Streuungsdiagramms
340 Rauschunterdrückungsfilter
350 Herauslösen der Maskenformengrenze
360 Hinzufügen eines Empfindlichkeitsspielechts (optional)
370 Auffüllen des Maskenbereichs
15 380 Anwenden der Maske auf das 2D-Streuungsdiagramm
390 über Defekte berichten

Fig. 5

- 20 1 Testbildgraustufen
2 Referenzbildgraustufe

Fig. 6

- 25 601 Defekt

Fig. 12

- 30 1 Defekte

Fig. 13

- 1 Defekt

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erfassen von Defekten mit den Schritten:
(a) Bereitstellen eines ersten Bildes eines zu inspizierenden Objektes und eines assoziierten zweiten Bildes;
(b) Ausrichten des ersten Bildes mit dem zweiten Bild;
40 (c) Erzeugen eines ersten Diagramms durch Auftragen der Graustufen der Pixel von dem ersten Bild gegen die Graustufen von entsprechenden Pixel von dem zweiten Bild;
(d) Erzeugen eines zweiten Diagramms durch Filtern des ersten Diagramms;
(e) Erzeugen einer Maske, wobei die Maske ein durch die Form des zweiten Diagramms definiertes Profil aufweist; und
45 (f) Verwenden der Maske, um in dem ersten Bild vertretene Defekte zu erfassen.
2. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Filtern unter Verwendung eines morphologischen Filters durchgeführt wird.
3. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Ausdehnung der Maske von einem Anwender einstellbar ist.
4. Das Verfahren nach Anspruch 1, das ferner das Verwenden eines Filters mit laufendem Durchschnittswert umfasst, um das Profil der Maske zu glätten.
50
5. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das zweite Bild aus einer Datenbank erhalten wird.
6. Das Verfahren nach Anspruch 1, das ferner Speichern der Diagramme aus den Schritten (c) und (d) in einem computerlesbaren Medium umfasst.
7. Computerlesbares Medium, das ein Programm zum Ausführen des Verfahrens nach Anspruch 1 speichert.
- 55 8. Computerlesbares Medium mit:
Mehreren Speicherplätzen, die Daten enthalten, die eine erstes Bild und ein assoziiertes zweites Bild repräsentieren, wobei das erste und das zweite Bild jeweils mehrere Pixel aufweisen, wobei jedes Pixel durch eine Positionscoordinate und eine Graustufe definiert ist; und
einem Array mit mehreren Speicherplätzen, die eine Maske definierende Daten speichern, wobei die Maske durch
60 Filtern der Darstellung der Graustufen der Pixel von dem ersten Bild gegenüber den Graustufen von entsprechenden Pixel von dem zweiten Bild erzeugt ist.
9. Das computerlesbare Medium nach Anspruch 8, wobei das Filtern unter Verwendung eines morphologischen Filters ausgeführt ist.
10. Das computerlesbare Medium nach Anspruch 8, wobei ein Algorithmus für eine laufende Mittelwertbildung verwendet wird, um die Darstellung der Graustufen der Pixel von dem ersten Bild gegenüber den Graustufen der Pi-

sel von dem zweiten Bild zu glätten.

Hierzu 18 Seiten(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

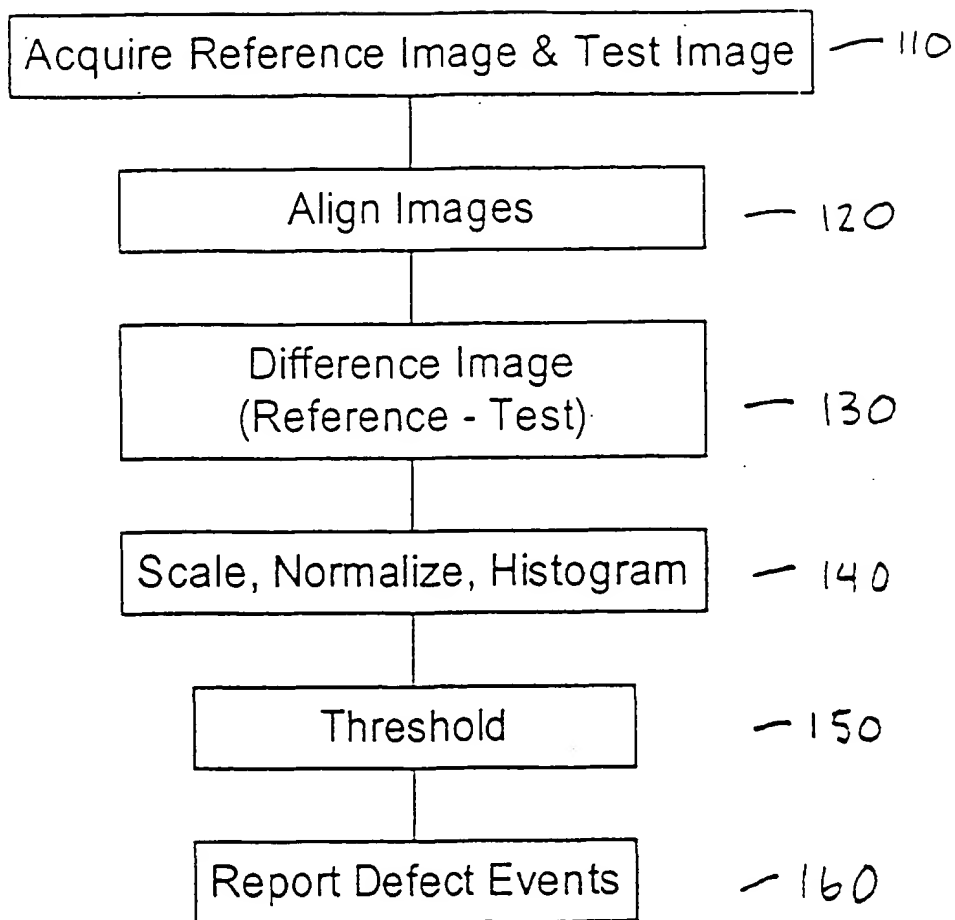


Fig. 1

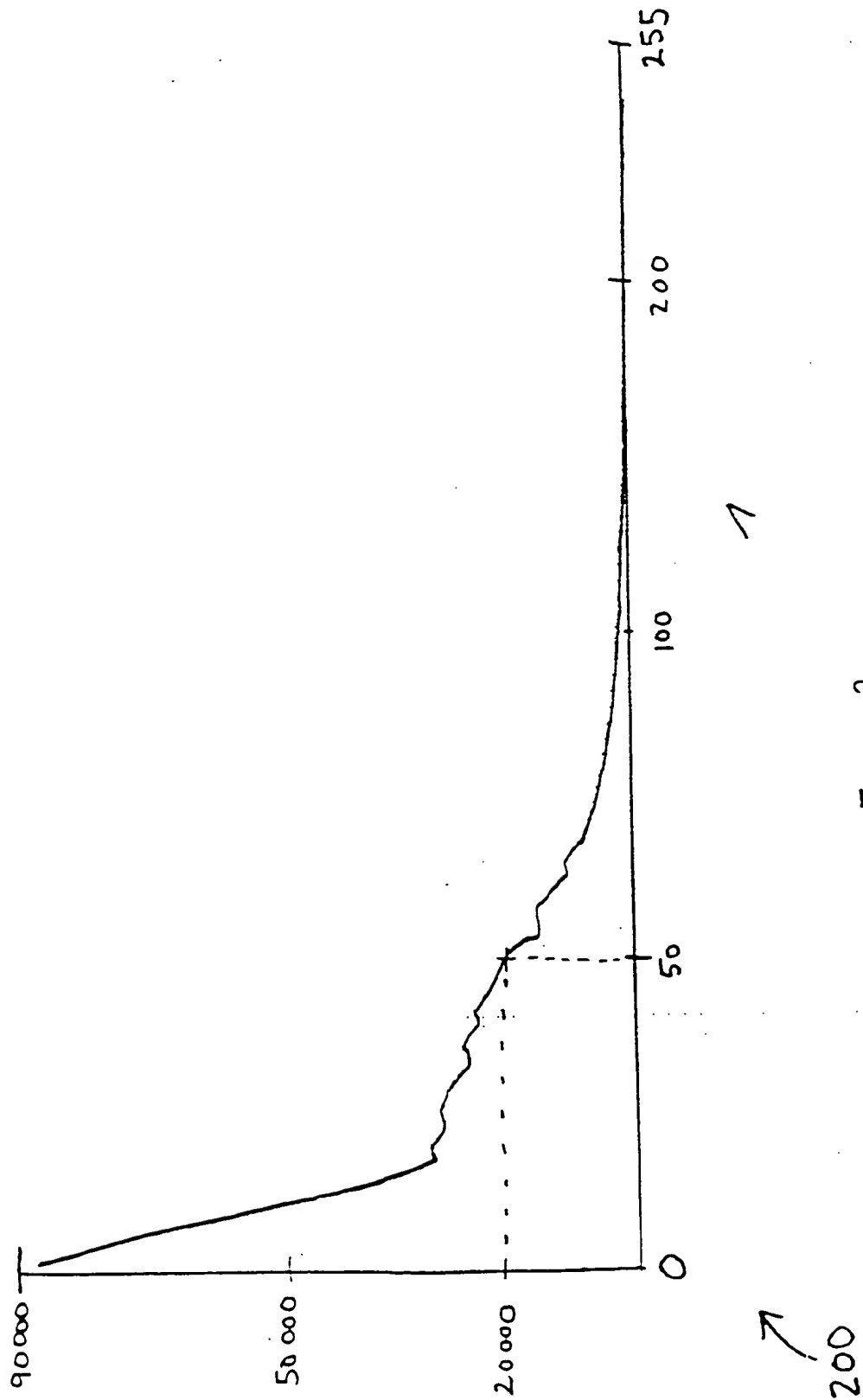
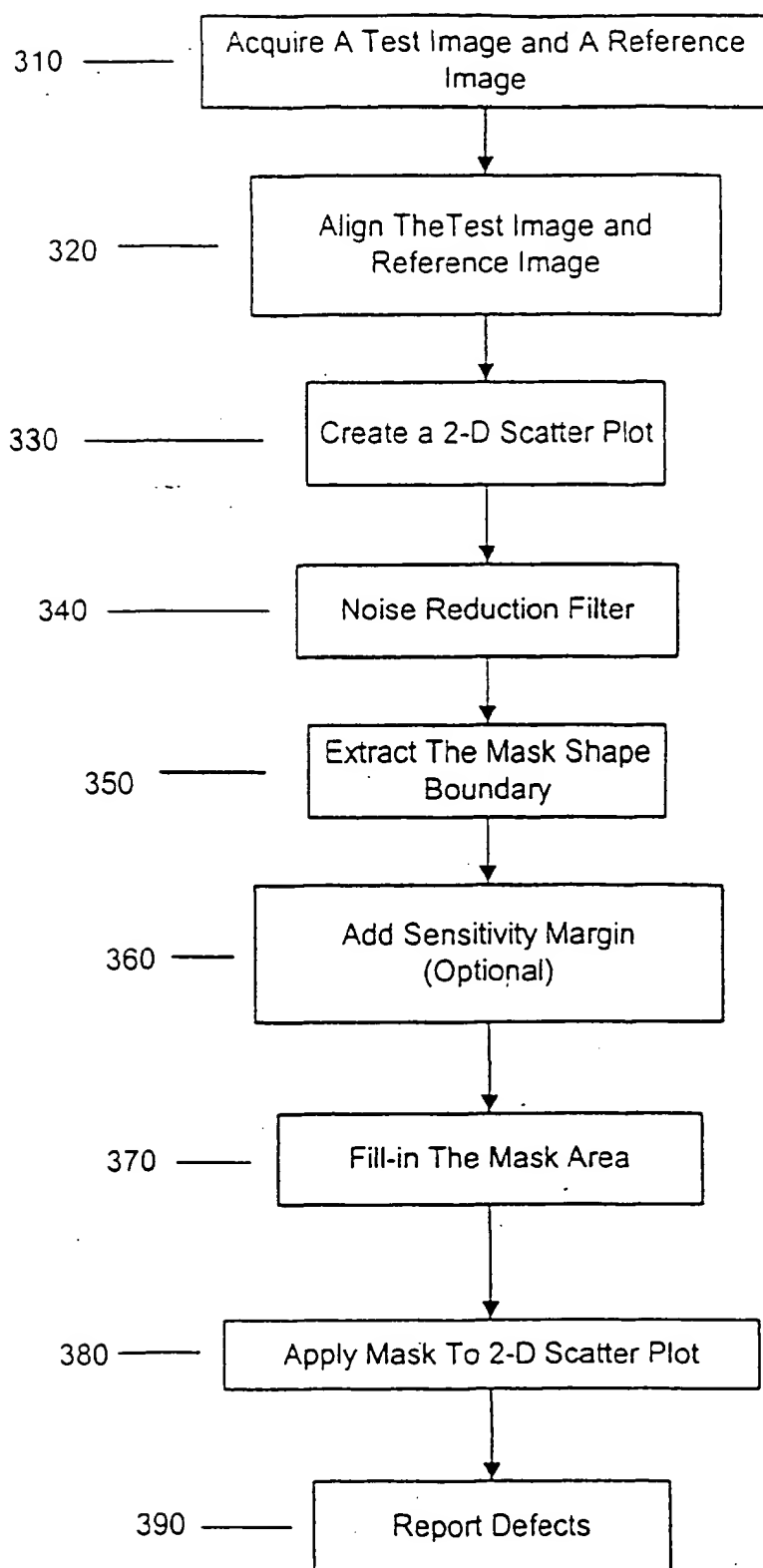


Fig. 2

**Fig. 3**

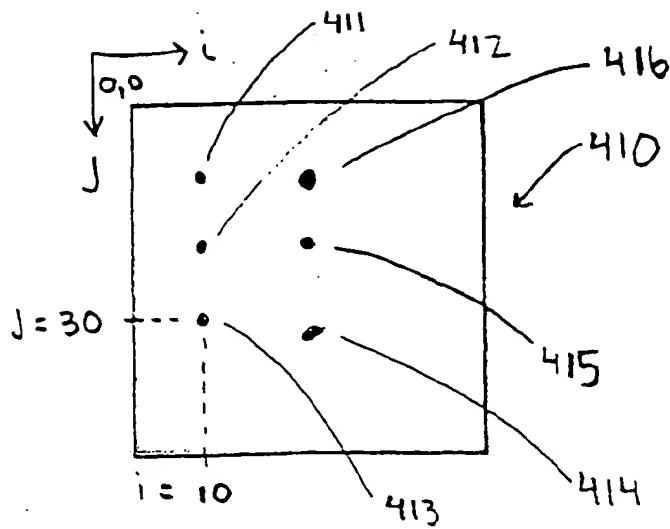


Fig. 4A

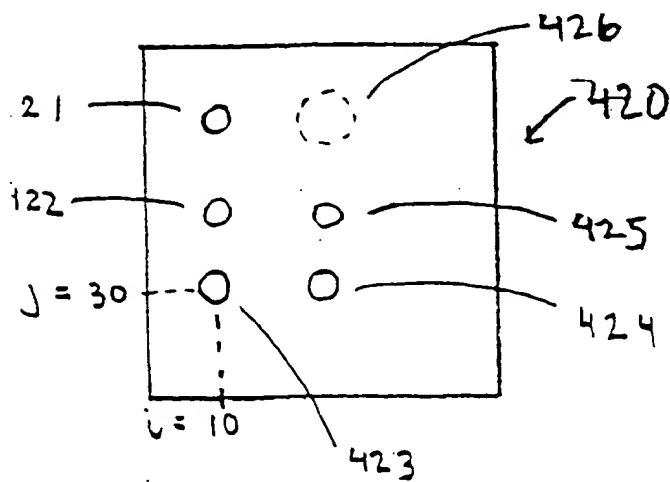


Fig. 4B

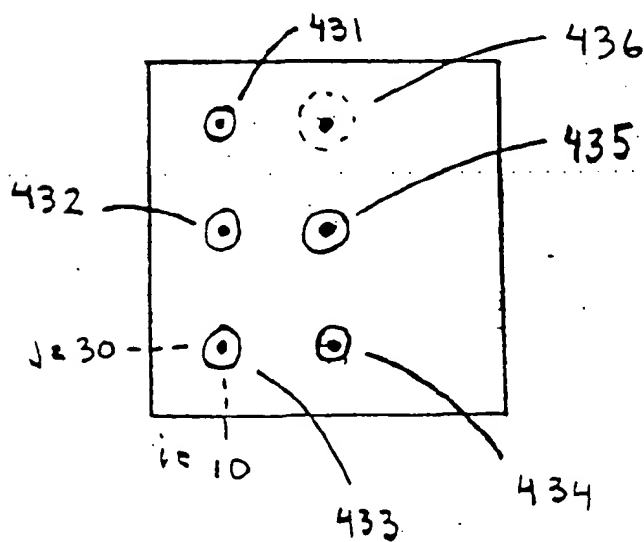


Fig. 4C

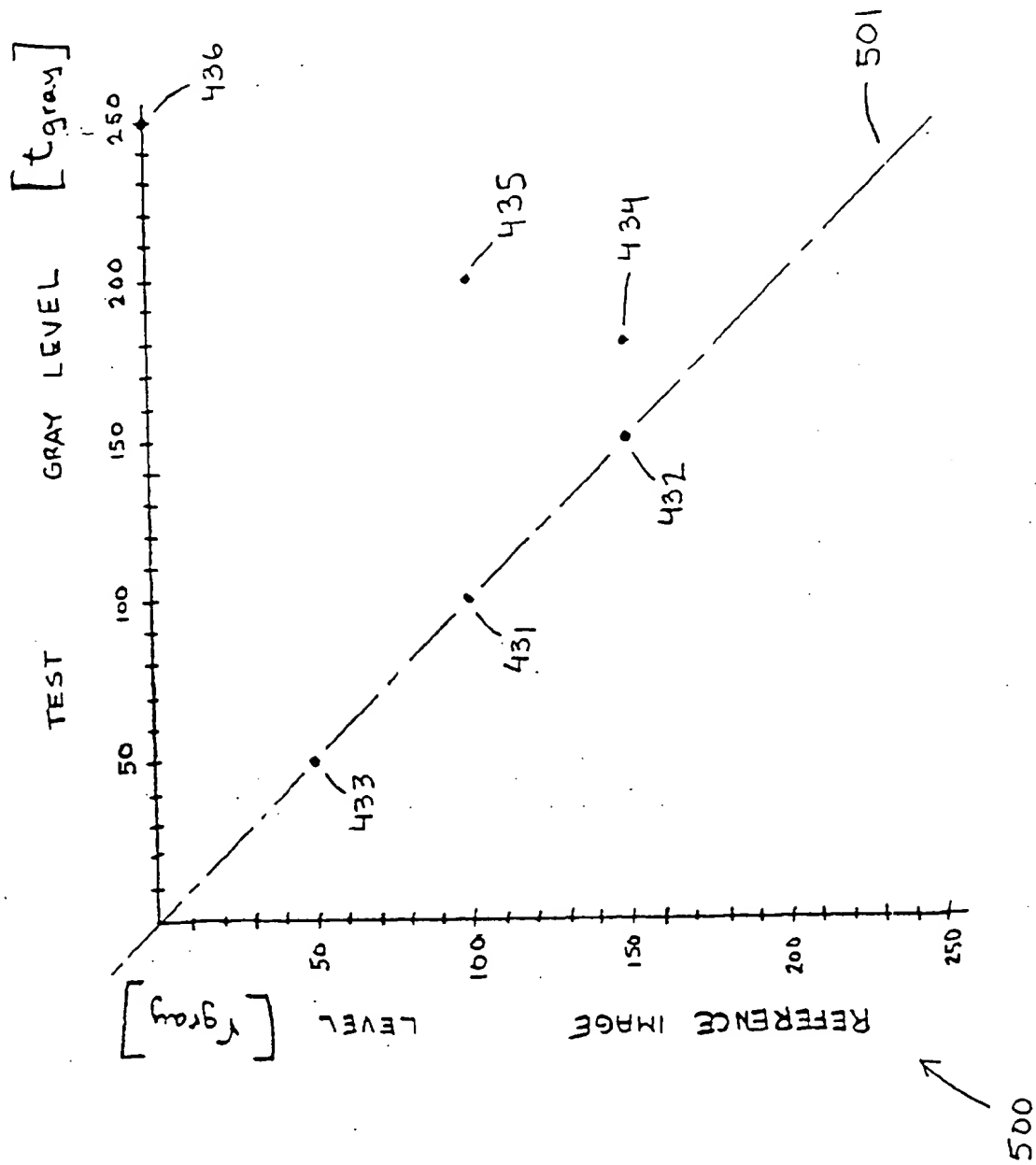
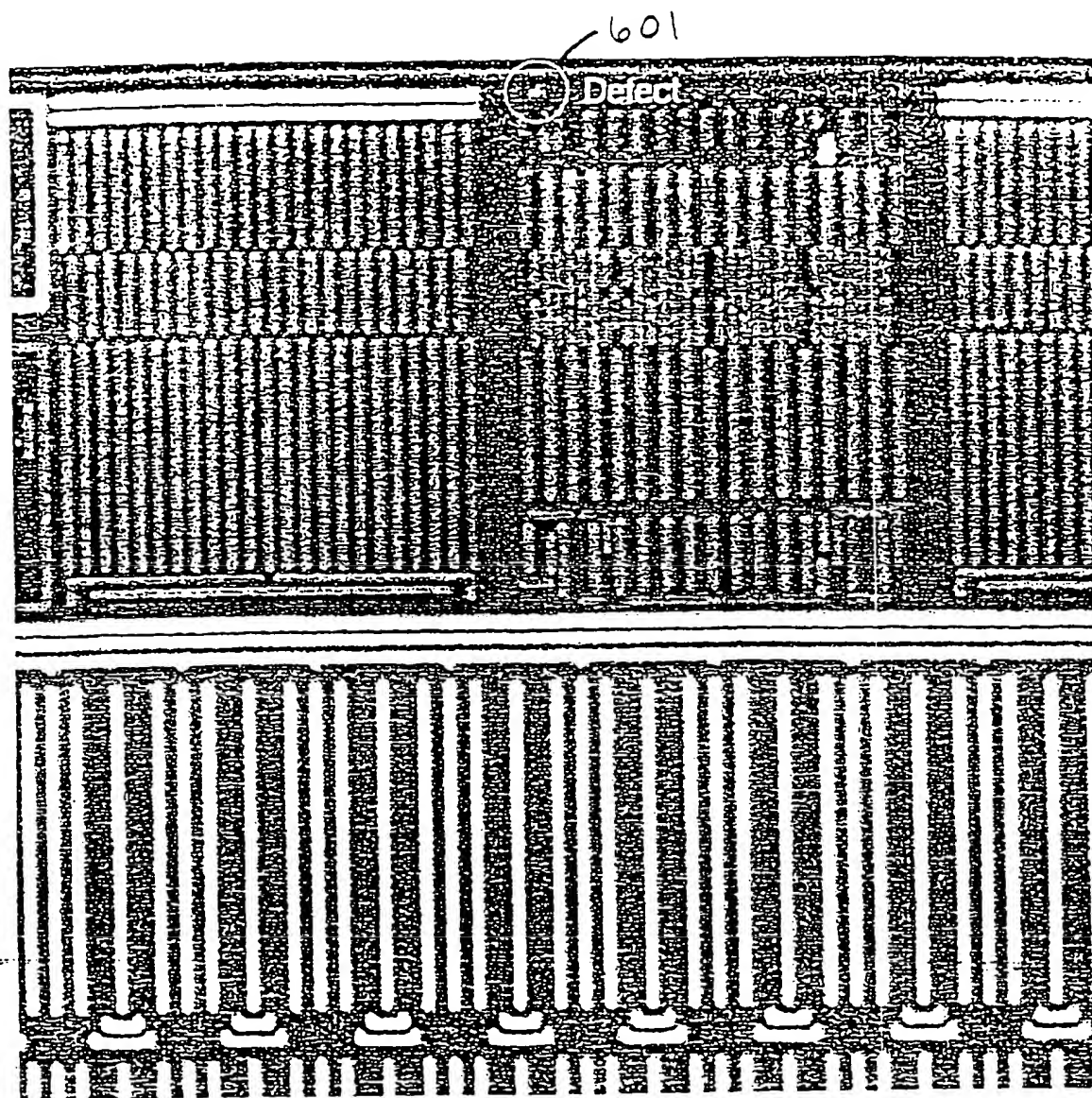
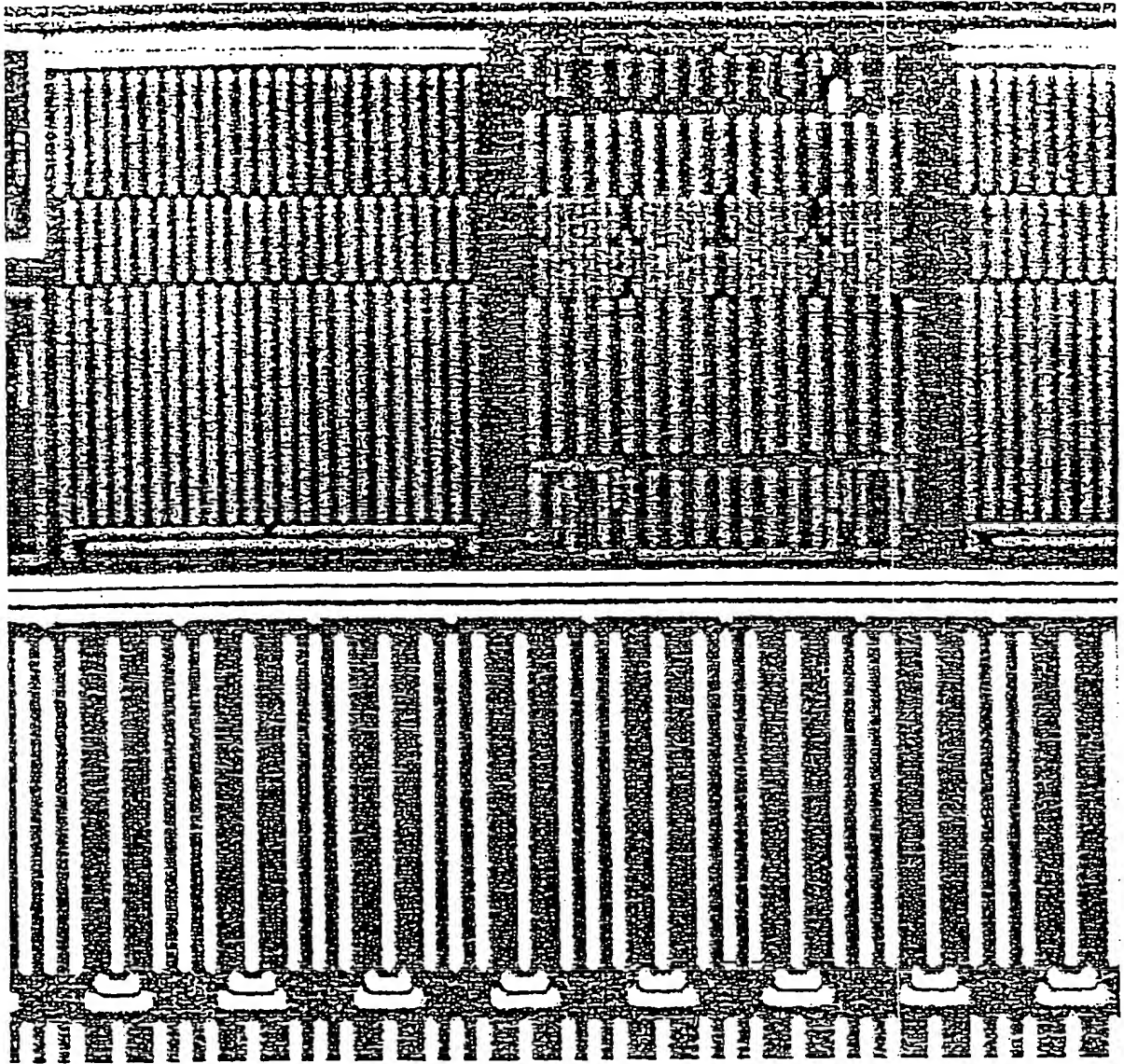


Fig 5



↑
600

Fig 6



↑
100

Fig. 7

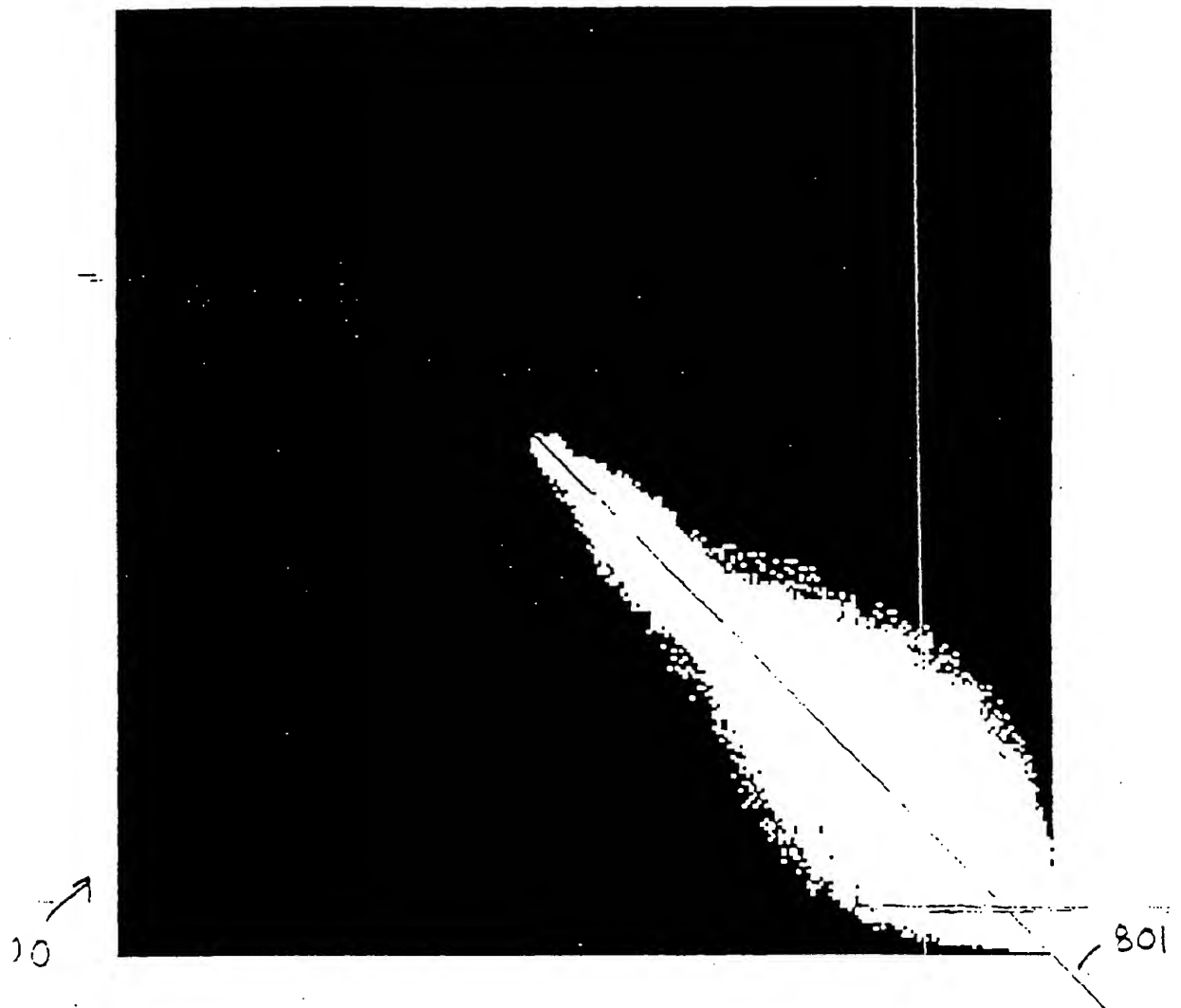
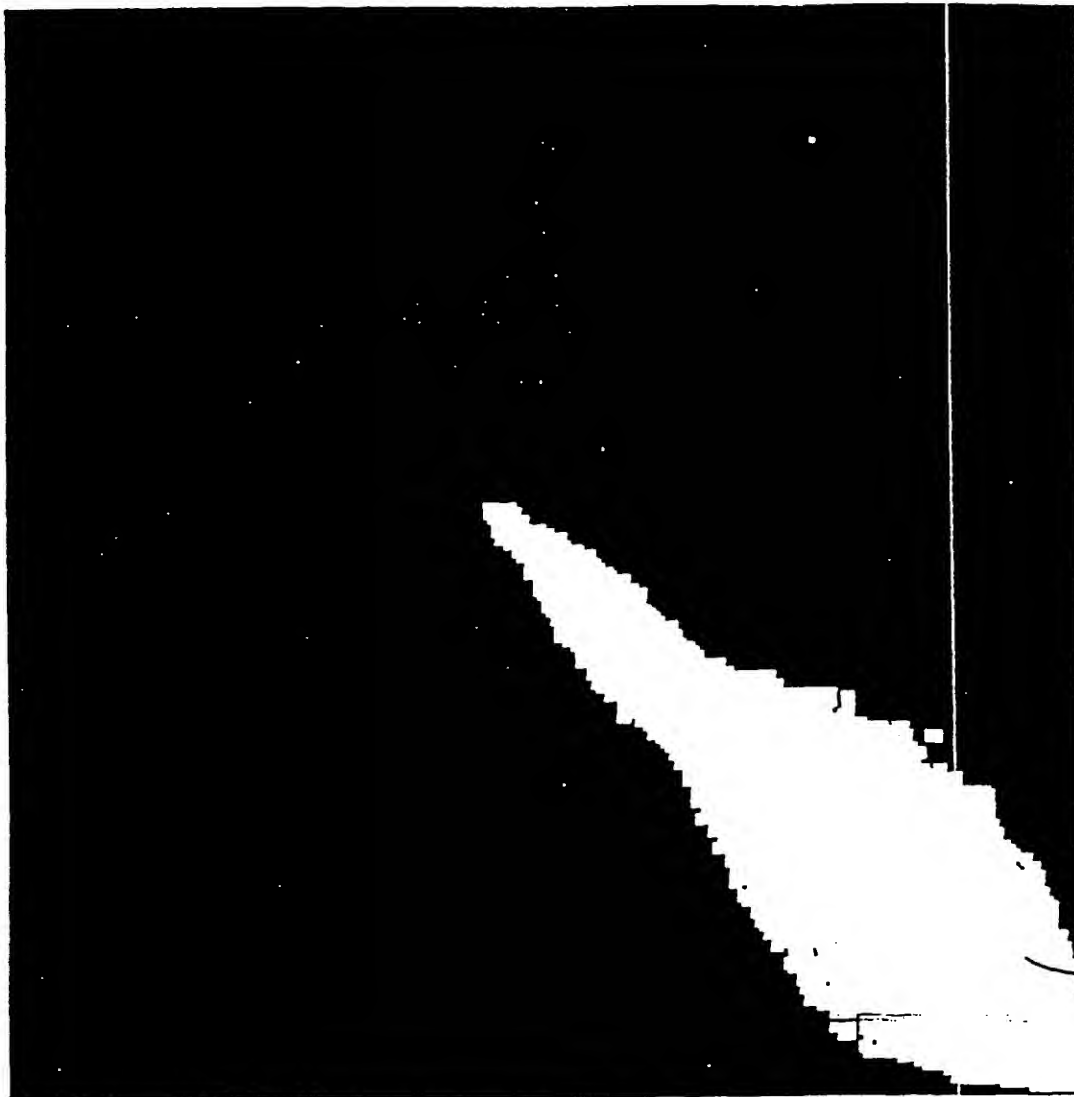


Fig 8



900

↑
950

Fig. 9A

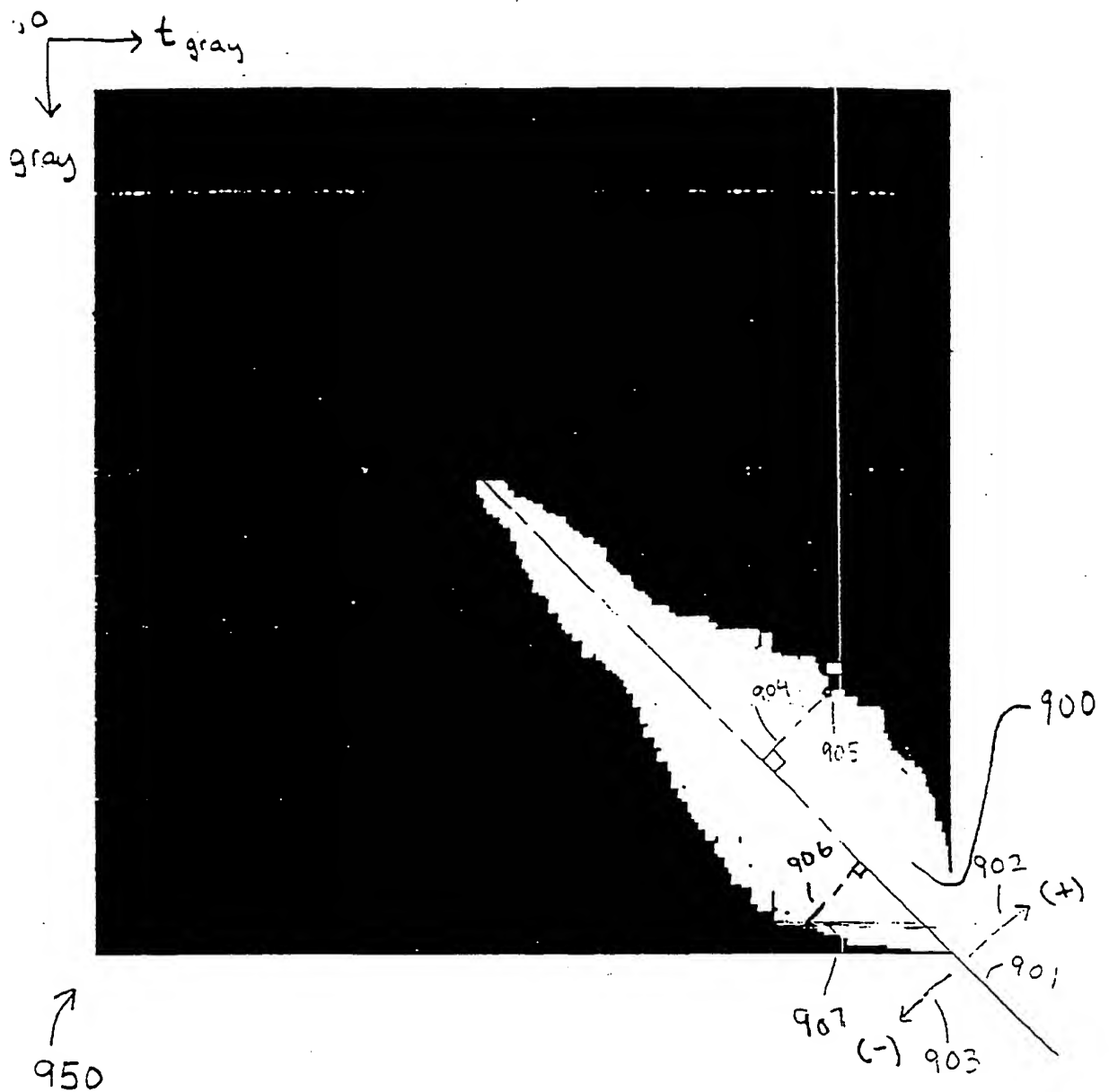
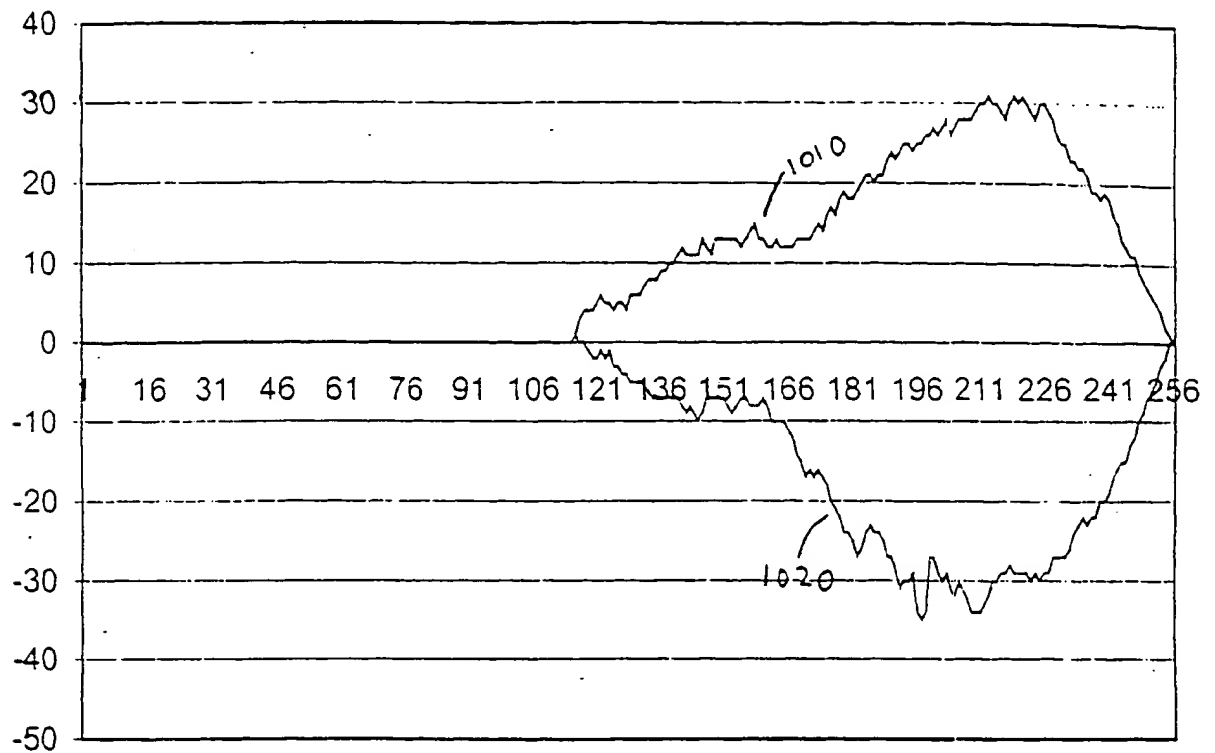


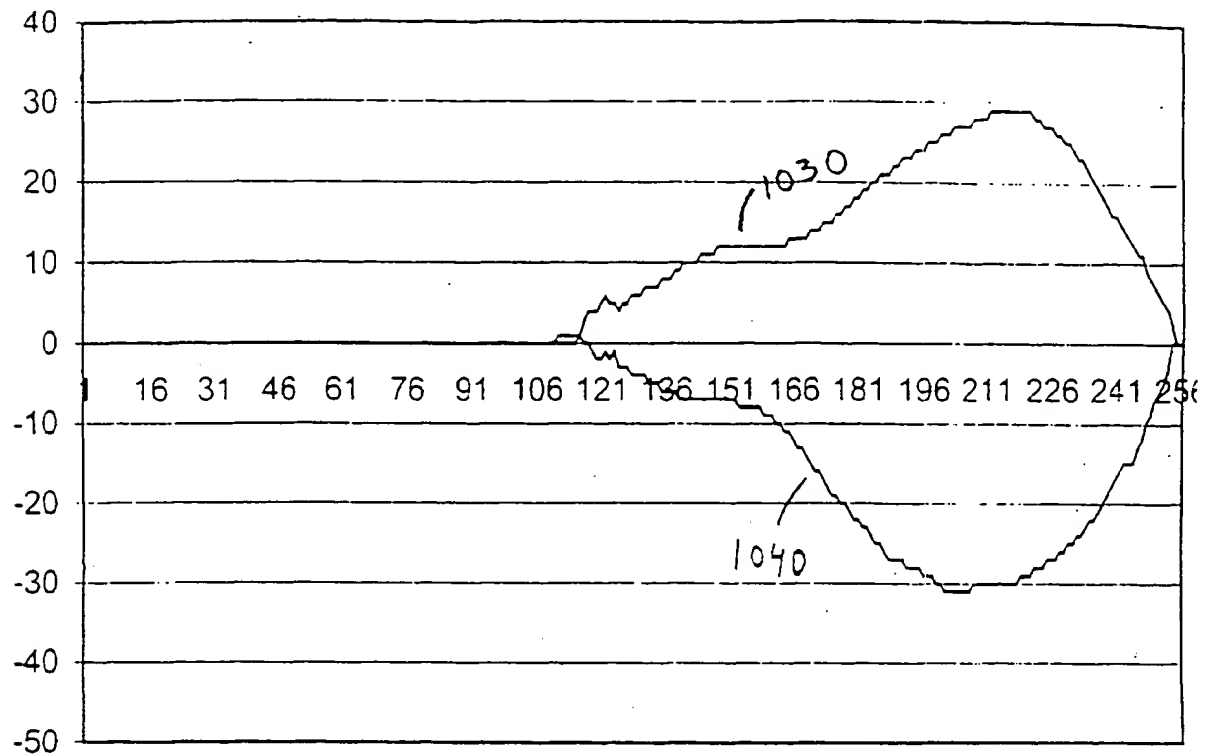
Fig 9B



1000 ↗

R_{profile}

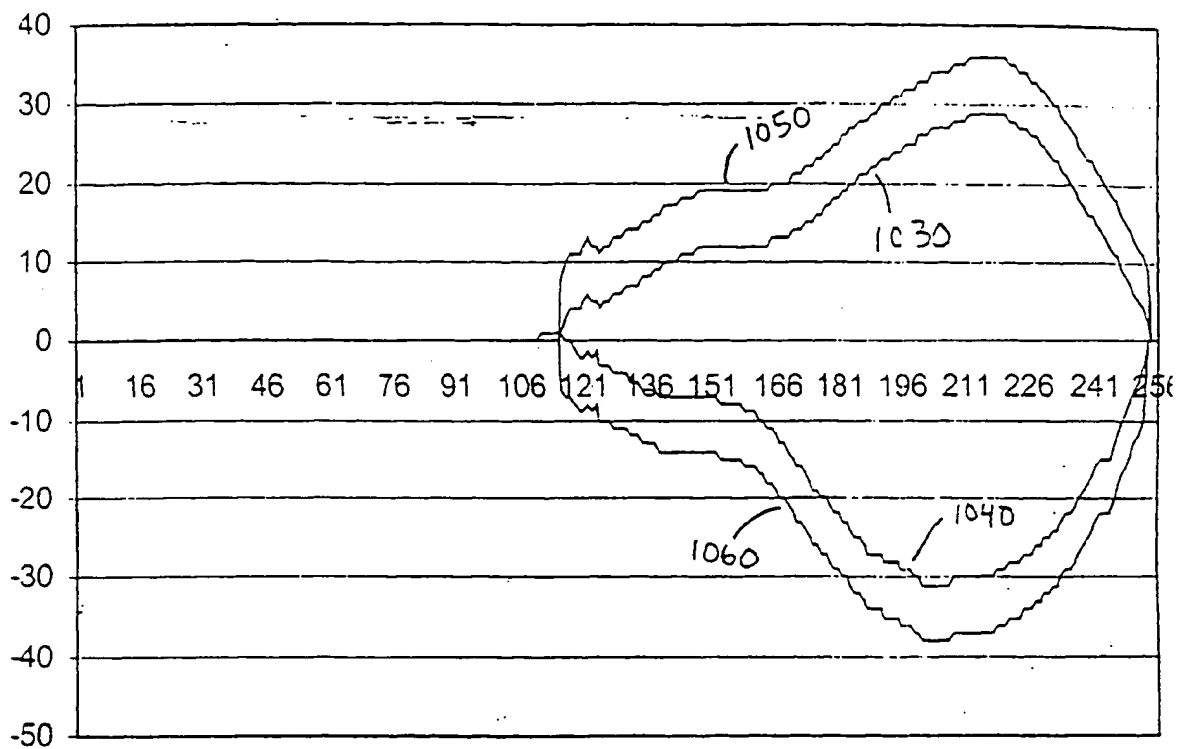
Fig. 10A



↗
2000

R_{profile}

Fig. 10B



R_{profile}

Fig. 10C

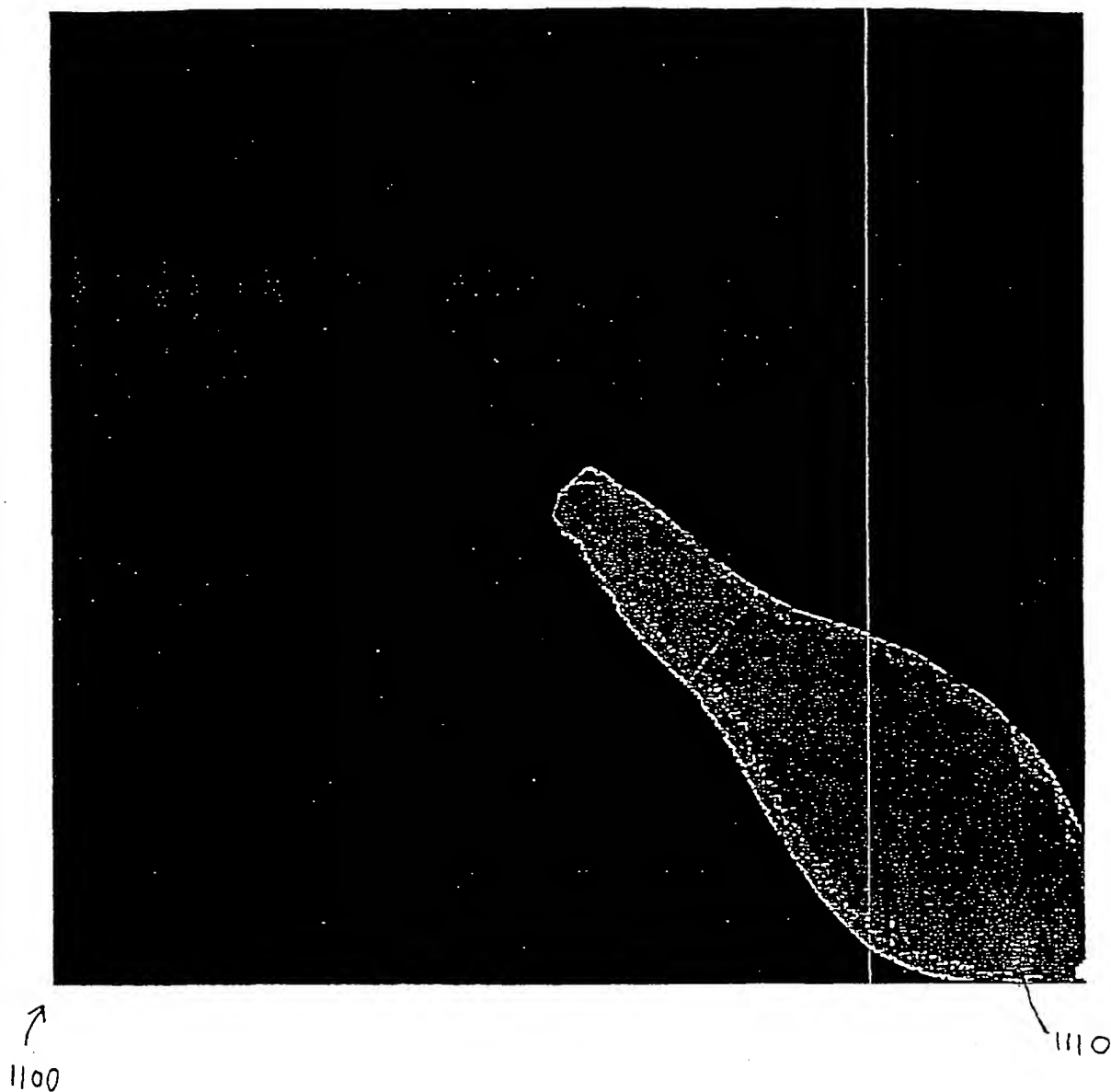


Fig. 11

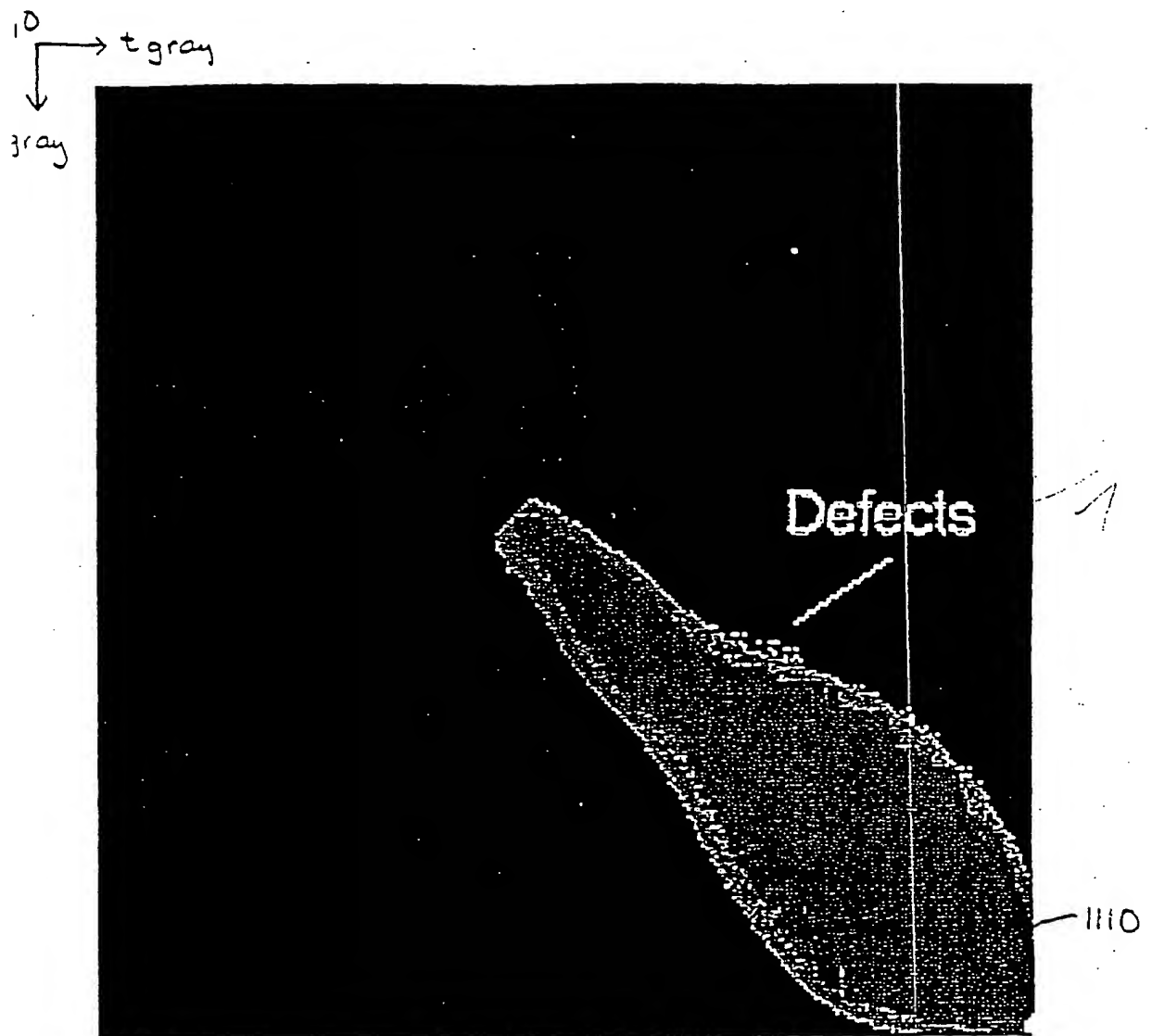
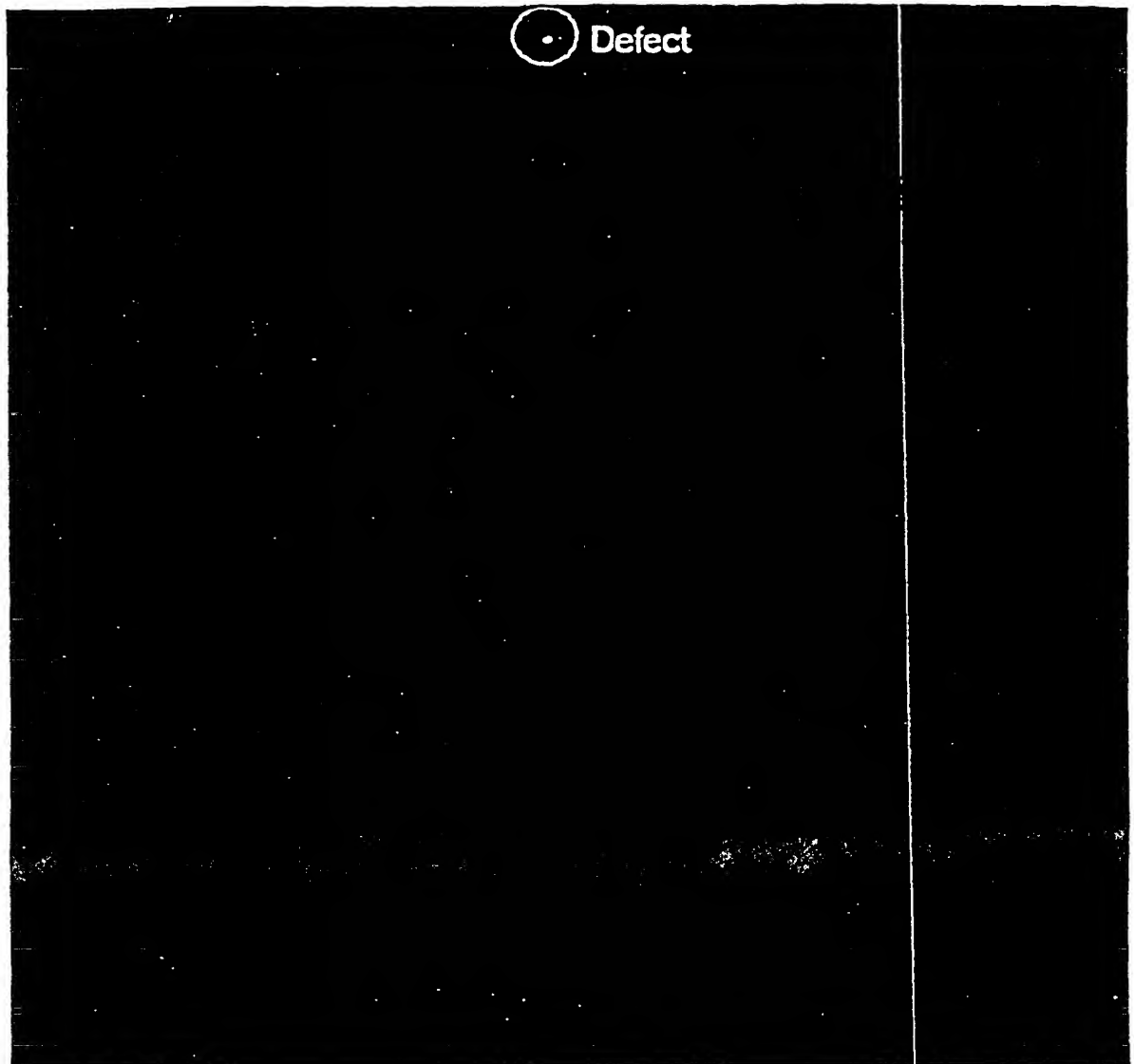


Fig. 12



300

Fig. 13

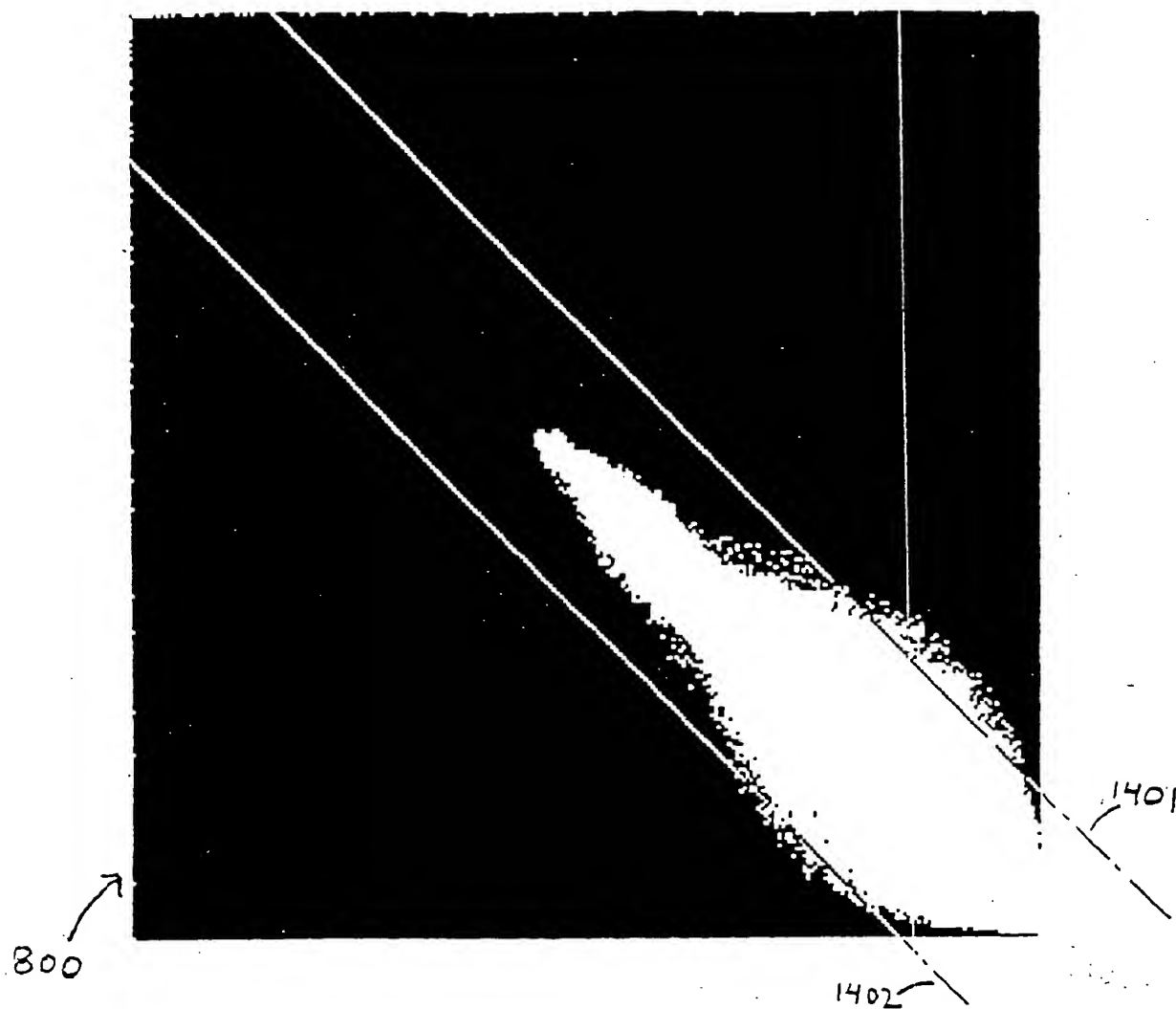


Fig. 14

→ i

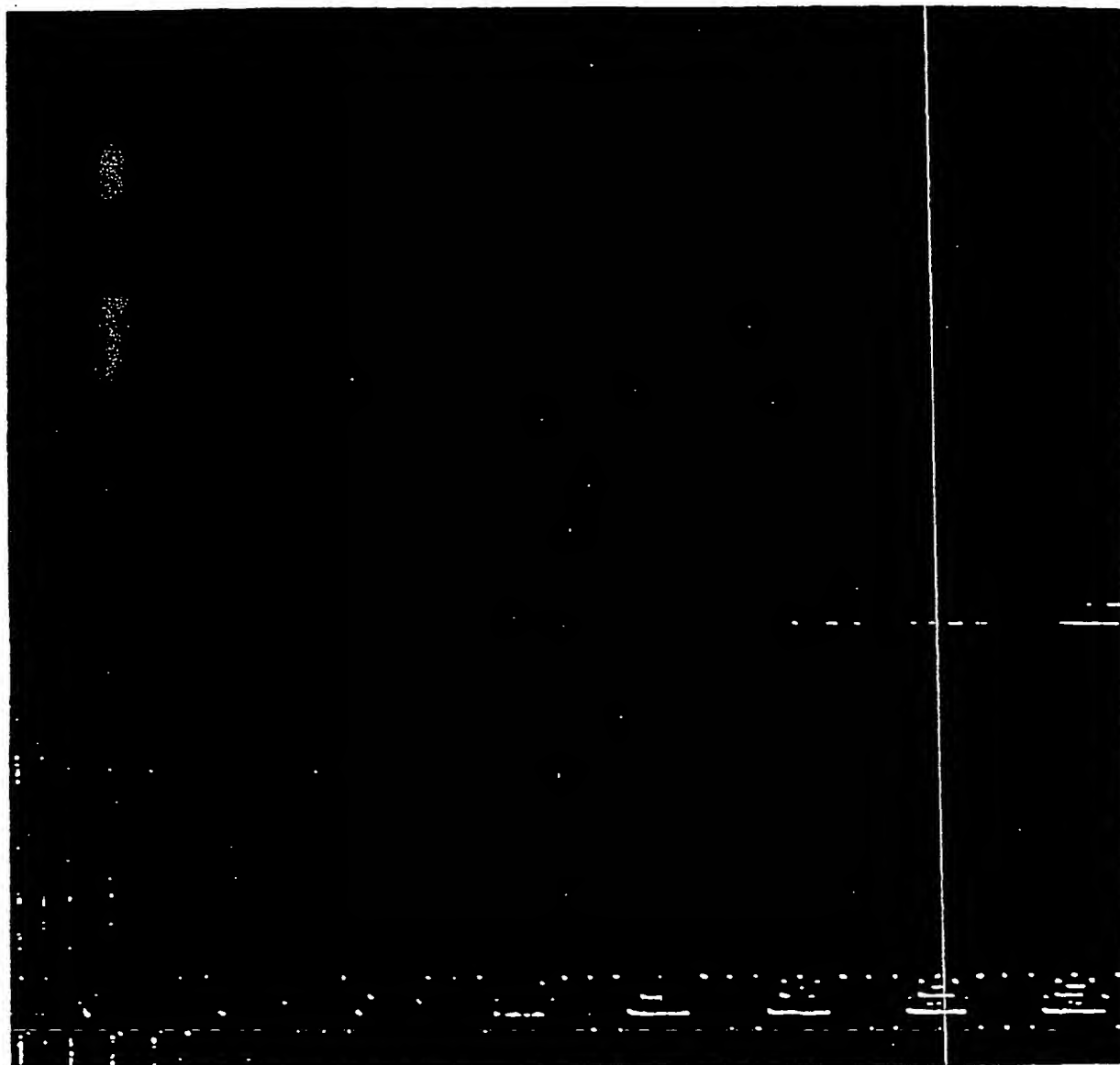


Fig. 15